多孔性瀝青混凝土鋪築於市區道路之施工經驗分享

朱惕之[1] 林茂盛[2] 游淳名[3] 李永川[4] 呂奇龍[5]

[1] 新北市政府工務局局長
[2] 新北市政府養護工程處處長
[3] 新北市政府養護工程處科長
[4] 前中華工程顧問工程司正工程司
[5] 新北市政府養護工程處工程員

摘要

多孔性瀝青混凝土(Porous Asphalt Concrete，以下簡稱PAC)主要是藉著瀝青混凝土中開放級配構成具有高比例空隙的鋪面結構，並將空隙率從傳統密級配3~5%提高至15~25%之間，能使雨水藉由大量的空隙入滲再迅速排出，避免在鋪面上形成水膜的情形，亦即可大大降低水霧飛濺情形及避免行車打滑現象。

而在台灣至今市區道路上仍是使用傳統密級配瀝青混凝土鋪面為主，本案係以既有道路先施作路基改善及人孔降埋後，再全面刨除路面2.5cm鋪築多孔性瀝青混凝土長期檢測及評估鋪築成效。

關鍵詞：多孔性瀝青混凝土(PAC)、空隙率。

一、前言

多孔性瀝青混凝土(PAC)源自於 1950 年代的歐洲，具有高孔隙率、高比例粗粒料含量的特性，利用粗細料料間適當的組合，將瀝青混凝土的孔隙率提高至 15~25%，藉此可以獲得較佳排水性及抗滑能力，並可減低行車噪音，適合多雨地區的使用。

台灣地處亞熱帶，夏季氣候長期高溫且多雨，近年來受到全球氣候變遷影響，經常產生間歇性暴雨，雨天行車容易影響安全，目前的道路都是鋪設密級配瀝青混凝土(DGAC)排水方式並以路拱方式造成縱向及橫向的排水，為降地降雨過程中鋪面形成水膜而發生行車打滑與水沫飛濺的現象，鋪面的排水能力更顯得格外重要。多孔性瀝青混凝土(PAC)的特性主要是藉著瀝青混凝土中開放級配構成具有高比例空隙的鋪面結構(空隙率從傳統密級配 3~5%提高至 15~25%)，再藉由連通的孔隙，讓雨水孔從鋪面結構中排出，能使雨水藉由大量的空隙入滲再迅速排出，避免在鋪面上形成水膜的情形，亦即可大大降低水霧飛濺情形及避免行車打滑現象，具有增加鋪面抗滑能力；因台灣氣候多雨潮濕，水份可能積存在鋪面表面和內部，對瀝青混凝土可能導致黏結性損失，產生剝脫，大大降低鋪面的使用壽命，長久以來一直都是

[1] 新北市政府工務局 局長
[2] 新北市政府養護工程處 處長
[3] 新北市政府養護工程處 科長
[4] 前中華工程顧問工程司 正工程司
[5] 新北市政府養護工程處 工程員(通訊作者，聯絡地址：235 新北市中和區員山路 471 號，電話：02-2225-3299 分機 405，E-mail:AH9747@ms.ntpc.gov.tw)

公路單位所關注得重要議題。在國內對於多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面的已研究多年，運用在高速公路實際鋪築上亦有相當多的實務經驗，但對於市區道路上的實際鋪築案例仍不多，因市區道路有別於高速公路的交通特性及施工受限等因素影響下，且多於試驗道路階段。

因多孔性瀝青混凝土(PAC)相較於傳統密級配瀝青混凝土(DGAC)光是材料單價相差近 1 倍，故對於多孔性瀝青混凝土(PAC)的管控更為重要，包含粒料之選定及級配控制、瀝青含量、拌和溫度及鋪築滾壓溫度控制、現場施工等。

二、多孔性瀝青混凝土(PAC)路面工程品質管制

現行地方政府在既有道路上的養護仍多採用柔性路面(密級配瀝青混凝土)，其優點在於其施工及養護容易，行車較平坦、低噪音、舒適，且造價亦較經濟，因此它仍是目前路面工程的主流，故良好之瀝青混凝土路面須具有足夠的穩定性、適當的柔性、耐久性、抗疲勞性、抗滑性、工作性和緻密性，對於落在鋪面上的水，僅能靠鋪面上路拱方式造成縱向及橫向表面的排水方式，另多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面除具有足夠的穩定性、適當的柔性、耐久性、抗疲勞性、抗滑性、工作性外，利用高空隙率的特性，使的落在鋪面上的水能藉由大量的空隙入滲而迅速排出，避免在鋪面上形成水膜的情形，亦即可降低水霧飛濺情形及避免行車打滑現象，更大大提升交通安全。

多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面鋪築於市區道路上有別於高速公路的施工，高速公路施工方式為一次性刨除面層下 7~8cm 瀝青混凝土(包含面層 2~3cm 多孔性瀝青混凝土(PAC)及面層下的 5cm 密級配瀝青混凝土(DGAC))，再回鋪 5cm 密級配瀝青混凝土，剩餘未回鋪的部分待開放通車壓密一段時間後，再回鋪 2~3cm 多孔性瀝青混凝土(PAC)；而在市區道路除新闢道路原始設計多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面及考量週邊的排水設施一併新作外，餘在市區道路(屬既有道路)上鋪築多孔性瀝青混凝土(PAC)，則須遷就既有的排水設施設置，所以在施工前須先改善既有的路拱方式縱向及橫向排水順利排入排水設施及刨除面須採用微刨工法控制刨除面平整度，讓刨除面未來回鋪多孔性瀝青混凝土(PAC)不會造成積水現象，這是決定往後鋪面成功的重要因子之一。

因此欲藉由本文簡述近年新北市政府施作多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面道路刨鋪執行瀝青混凝土拌和廠駐廠品質管制及現場施工鋪築管制現況。

2.1 瀝青混凝土道路工程主要作業項目

影響瀝青混凝土道路工程品質因素極多，例如:路基改善、人手孔降埋，均對路面成敗有決定性的影響，而瀝青混凝土路面工程作業主要包括施工前調查、路基改善、人手孔降埋、驗廠(拌和廠設備檢驗及材料品質檢驗、決定配合設計)、拌和廠試拌、駐廠、工地鋪築、成果檢驗等，所以瀝青混凝土路面工程品質管制，主要係根據上述作業項目擬定品管作業程序及要點；目前執行品質管制，依據規範、監造品質計畫書、材料試驗計畫及施工檢驗計畫，提出檢驗流程、設立檢驗點、訂定品質試驗頻率與規範，並將結果記錄於表單。茲以圖 1 說明多孔性瀝青混凝土(PAC)道路工程主要作業項目。

2.2 瀝青混凝土拌和廠作業項目

而在瀝青混凝土拌和廠主要作業項目包括驗廠、材料品質檢驗、拌和廠設備檢驗、決定配合設計、工廠試拌及駐廠等作業，其中驗廠、材料品質檢驗、拌和廠設備檢驗、決定配合設計、拌和廠試拌完成後，於施工前確認工廠堆置粒料是否與送實驗室配合設計之試驗料源相同，將不同尺寸粒徑之粒料分別運入冷料倉，藉由冷料倉輸送帶運送至乾燥爐內加熱烘乾，再以熱料提升機將熱粒料運送至熱斗料倉上方之震動篩，經篩分後，粒料分別進入不同的熱斗料倉，以配合設計報告比例為基準下料經磅秤計量後，卸入拌和機和瀝青材料及填充料經乾拌及濕拌程序完成後，卸料至運輸車輛上，即完成瀝青混凝土之生產。茲以圖 2 說明拌和廠作業生產程序。

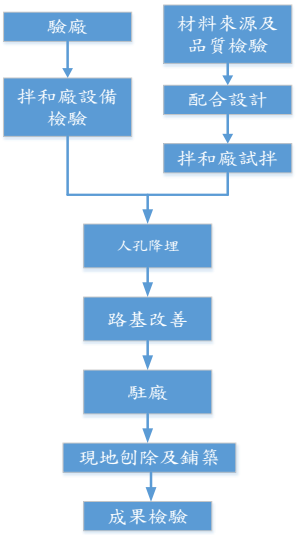

圖 1 瀝青混凝土道路工程主要作業項目流程圖

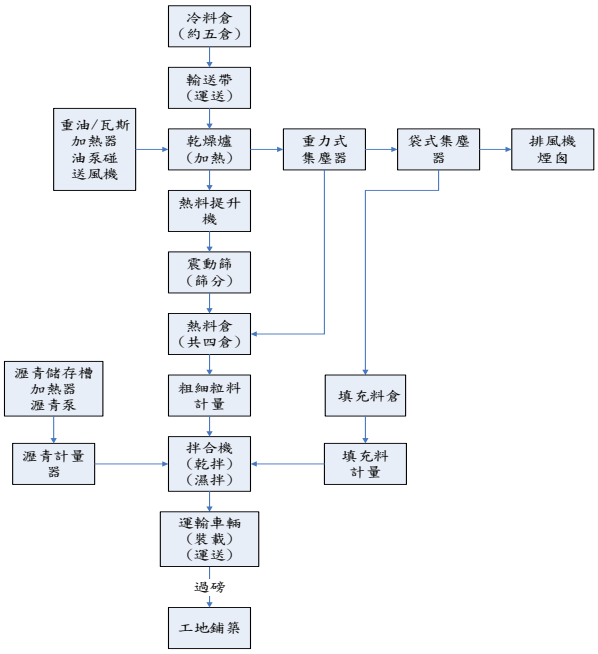

圖 2 瀝青混凝土拌和廠作業程序流程圖

2.3 瀝青混凝土拌和廠驗廠品質管制

優良的瀝青混凝土拌和廠品質管控除從材料進場控管、設備運作流暢及專業技術與經驗，按實際情況分析、判斷，做最佳的選擇及有效的執行，其中任何一環的脫節或疏忽，都將形成路面損壞之原因。

瀝青混凝土是道路工程的主體，其拌和廠作業之良窳是路面成敗之關鍵，也是道路工程施工最重要的一環，如瀝青混合料品質不良，縱使路面一系列的施工再好也不能維持良好的路況，瀝青混凝土拌和廠品質管制包括對各種材料之品質及供需量管制、機具設備與功能之檢驗及操作過程之查核、瀝青混合料之檢驗等，所以為確保所生產之瀝青混合料都能達到配合設計之要求標準，由拌和廠的每日生產品質嚴格管制作為並將每日數據回饋以作為修正評估依據，才是最佳的配合設計，再配合現場嚴謹之鋪築作業，始能相輔相成，始可有效提高道路工程品質。

2.3.1 驗廠

驗廠人員必須充分確認了解拌和廠生產流程、規範要求及各項試驗性質對瀝青混凝土造成之影響，粒料佔瀝青混凝土體積約 85%，故粒料來源之穩定性影響瀝青混凝土甚鉅，驗廠時應先確認粒料的品質及來源是否與提送配合設計報告粒料來源相同，若已變動，應要求承商重新提送新的粒料送實驗室重做配合設計，以符合現況使用的粒料特性。以下分別敘述之：

1. 須確認瀝青混凝土拌和廠係依照施工規範規定程序下執行操作。
2. 應對粒料來源穩定確認、瀝青膠泥、冷料堆、熱斗料、填充料及瀝青混合料作適時的取樣及試驗，以確保良好品質與均勻性。
3. 瀝青混凝土出料生產過程，應檢驗各材料配合使用量、瀝青混合料外觀及溫度。並持續控制生產過程之均勻穩定性，使瀝青瀝青混合料維持合乎工作拌和公式及規範容許控制範圍。
4. 拌和廠試驗資料之統計分析與評估，應隨著工程進行做實質追蹤統計與分析，以便清楚了解拌和廠品質的趨勢而加以控制已達到預防與矯正的效果。

粒料來源若能穩定及均勻性，瀝青混凝土之品質也就成功了一半，故拌和廠應針對冷料級配詳加控制，以了解料源狀況，若能有效統計料源篩分析資料，便可用於回饋於瀝青混凝土配合設計調整。

2.3.2 粒料及設備檢驗

1. 確認粒料來源並辦理粗細粒料試驗

多孔性瀝青混凝土(PAC)對於粒料的的性質及形狀有別於傳統密級配瀝青混凝土(DGAC)的要求如圖 1，所以為提高耐久性對於粒料的要求須具有高強度和良好的結構，可抗破碎，具破裂面的塊狀粒料，並且有適當的內部結合效果。混合料中粒料的破碎，易造成混合料的分解和鬆散，而破碎的細粒料會形成堵塞孔隙的現象而改變鋪面層原有的結構。所以粗粒料的洛杉磯磨損率要求 30%以下，粗料料的破碎面要求 100%具有一面破碎面，90%具有二面破碎面，故於粒料料源確認與配合設計時，將粗細粒料樣本留於樣品罐，以供平時粒料進場時之比對，並執行篩分析、比重、健度、含砂當量、磨損率、長扁片含量、碎石顆量含量等試驗。

2. 確認添加纖維的種類來源並辦理委外試驗

多孔性瀝青混凝土(PAC)添加纖維主要功用，可以吸住瀝青，防止其流動，可使瀝青含量提高及增加瀝青膜厚度，可更有效改善抗老化、防水等性質，進而改善路面剝脫分離的現像；纖維有區分木纖及礦纖兩種材質，本工程係使用木纖，因纖維比重輕多為國外進口至國內再添加至瀝青混和料內攪拌，國外進口因運輸問題已將纖維固化成微小顆粒狀，如直接添加入瀝青混和料內攪拌無法充分發揮其作用，故於添加入瀝青混和料內攪拌前須先破碎打散再添加，才能發揮真正之效果，並於送配合設計試驗同時取樣送驗，並將纖維樣本留於樣品罐，以供後續正式出料時作比對。

3. 確認瀝青膠泥等級並依規範頻率辦理委外試驗

由於多孔性瀝青混凝土(PAC)空隙率大，與水及空氣接觸面積增加，易受其影響而老化，進而降地耐久性，在級配上孔性瀝青混凝土(PAC)缺乏細粒料，在拌合、運輸或鋪設過程中，易發生瀝青膠泥流失的現象，造成瀝青含量的降地，使的孔性瀝青混凝土(PAC)極易因交通荷重或摩擦而產生剝脫與分離的狀況，因傳統的低黏滯度瀝青以無法有效抵抗此一狀況發生，所以在瀝青材料的使用考量黏滯度較高的改質瀝青。故於每次油罐車進場時核對出場證明書及材質檢驗證明書以確認瀝青膠泥等級，並於施工中再取樣送 TAF 認證之實驗室試驗確認改質瀝青品質。

4. 檢查拌和廠設備

對於拌和廠設備定期辦理檢驗，例如：熱斗料倉壁、熱斗料震動篩網、回收集塵器效率、檢驗拌和機內之拌和葉片或拌和機內壁清潔等。

5. 對於槽秤與地磅辦理校磅檢驗

對於槽秤與地磅須確認是否依規定每一年接受經認證之試驗單位辦理校驗檢定結果合格，並取得校驗檢定合格報告。

6. 拌和廠內試驗室設備辦理校驗

試驗室內使用之儀器如電子磅秤、溫度計、游標卡尺、磨損試驗機與馬歇爾試驗儀之壓力環須依規定每一年接受經認證之試驗單位辦理校驗，並將校驗結果追溯於平時之試驗結果。

2.3.3 冷料斗（堆）篩分析

目前瀝青拌和廠砂石來源較少管控，於正式出料時往往料堆已與原配合設計報告提送砂石來源已完全不符或砂石場改變料源提供，拌和廠完全不知，故砂石進拌和廠時，拌和廠試驗室品管人員除目視檢驗砂石含泥情形及定期檢驗粒料級配篩分析外，更應不定時抽驗粒料級配篩分析結果是否有差異過大情形，如差異過大應立即通知砂石供應商退貨，並要求提供清潔且穩定、均勻之砂石，在多孔性瀝青混凝土(PAC)的粒料破碎面要求又比一般密級配瀝青混凝土粒料篩選更嚴格。

1. 執行各冷料斗（堆）篩分析並檢核配合後之級配與拌和公式是否差異過大。
2. 級配與工作拌和公式差異過大之處理。
   （1）檢討是否取樣不當，再重新取樣確認。
   （2）檢查料源是否改變。

2.3.4 各項系統之設定及控制

1. 確認熱料斗溫度及瀝青膠泥儲存槽控制溫度並開溫度自動記錄器

檢視各熱料斗溫度，使用改質瀝青時其瀝青混和料自拌和廠出廠時不得低於 170℃或高於 185℃，所以在瀝青膠泥加入溫度控制上，改質瀝青材料一般之加熱溫度控制範圍約 165℃~185℃，且熱料斗之溫度應稍高於瀝青膠泥儲存槽控制溫度，惟以不高於 10℃為宜。若超過溫度時，應立即通知操作人員調整。

為確保瀝青混合料生產溫度能符合規範要求，一般工程實務上多將熱料斗倉溫度控制約在 180℃~190℃，另於出料過程中並應將溫度自動記錄器開啟，並全程確認出料加熱溫度是否不當。

2. 確認各熱料斗及瀝青膠泥與填充料配合用量設定是否正確

依熱料級配配合比例轉換設定成各熱料斗及填充料之配合實際用量及設定瀝青膠泥配合設計使用量，例：假設拌和廠多孔性瀝青混凝土(PAC) 1/2in 配合設計最佳含油量為 5.0%，又拌和廠產量為 70 公噸/小時（每盤 1.5 公噸），經熱料斗篩分析及配合後，熱料級配配合比例為熱斗 1(1 公分)：熱斗 2(0.8 公分)：熱斗 3(0.5 公分)：熱斗 4(砂)=10.0% ：37.0% ：38% ：9.7% ，填充料(石粉)為 5.0% ，木纖為 0.3% ，則熱斗 1、熱斗 2、熱斗 3、熱斗 4、填充料(石粉)、木纖、瀝青膠泥(改質 3 型)之每盤使用量分別為 143 kg、527 kg、541 kg、138 kg、71.5 kg、4.5kg、75 kg。

3. 確認拌和時間設定是否正確

各種大小不同之粒料、填充料及瀝青材料，應依工地拌和公式所規定之比例，分別以重量比準確配合之，現在瀝青混凝土拌和廠均多屬在分盤式拌和機，其拌和時，無論如何，在濕拌時間不得超過 50 秒。因為多孔性瀝青混凝土(PAC)有添加木纖或礦纖，故乾拌時間應考量添加纖維材料能否充分拌合分散均勻。

2.3.5 配合設計

拌和廠往往是一次性取冷料堆的粒料，送實驗室作配合設計，忽略粒料進場的料源均勻性是否差異過大，也可能因為取樣問題造成差異過大，故配合設計報告的結果也無法實際運用於真正的出料；建議瀝青混凝土拌和廠依實際冷料進場分別 5 次取樣，並分別作粒料級配篩分析及留樣品，再彙整 5 次篩分析結果確認進場的料源均勻性，再送實驗室作配合設計。

2.3.6 拌和廠試拌

依配合設計報告，將熱料級配合成後比例轉換設定成各熱料斗及填充料之配合實際用量及瀝青膠泥配合設計使用量，依設定拌和時間，在拌和廠實際拌和瀝青混凝土成品，並確認瀝青混合料是否符合需求，並取樣由拌和廠試驗室施作抽油後試驗取得瀝青含量及粒料級配篩分析數據，用以確認瀝青混合料含油量及粒料級配結果是否符合規範及配合設計報告要求，並作為日後正式出料依據。

2.4 駐廠人員之品管作業

駐廠品管作業係在瀝青混凝土生產過程中，降低瀝青混合料之不良率，遂次達到確保瀝青混合料之品質能符合規定，盡力防範不良之瀝青混合料之產生與誤用，因此對於瀝青混凝

土拌和廠生產作業各點加以檢驗。茲以圖 3 說明駐廠檢驗品管作業要點。

2.4.1 熱料斗篩分析

1. 現行監造人員係要求瀝青混凝土拌和廠每天出料前執行檢核各熱料合成級配是否超出規範值，卻無大量出料後的實質管制，經檢討後，應要求瀝青混凝土拌和廠於點火後約 20 分鐘後再取熱斗料級配篩分析及合成比例檢核與原工作拌和公式比較是否有超出規範情形及差異過大變動情形。如圖 4 熱料斗取樣合成級配篩分析圖。

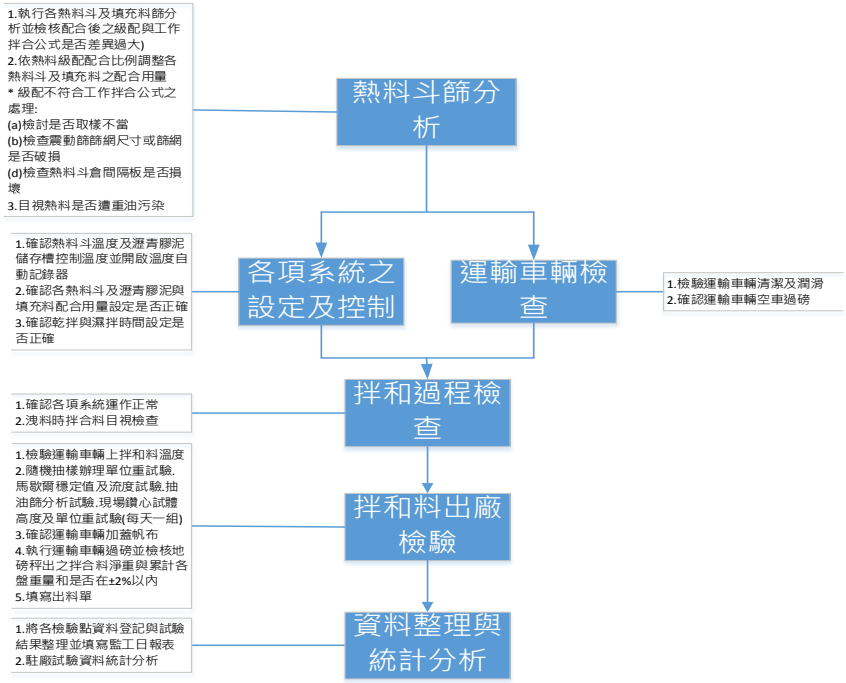

圖 3 駐廠檢驗品管作業要點圖

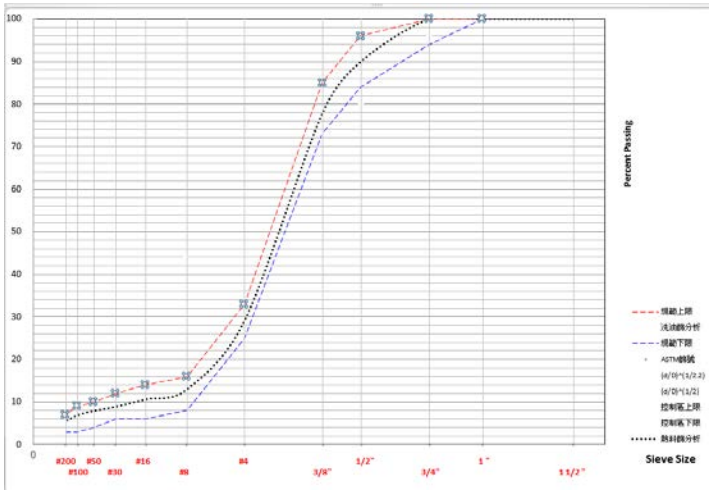

圖 4 熱料斗取樣合成級配篩分析圖

2. 依熱料級配配合比例微調各熱料斗及填充料之配合用量。
3. 目視熱料是否遭重油污染。

為使乾燥爐有效作業，必須使空氣與餵入燃燒器之燃料油達成平衡而燃燒。當空氣不夠充分或過量燃料油時，造成不完全燃燒，導致燃燒油殘留在粒料上及影響到後續拌和。因此在粒料從乾燥爐出來時，可目視粒料是否遭燃料油污染如圖 5，或取一鏟粒料進入水桶中，觀察是否有浮油現象，因目前有些拌和廠位於都會區內因空氣汙染防制問題，已改成以瓦斯加熱乾燥粒料，此種乾燥加熱方式則不會產生不完全燃燒，導致為燃燒油殘留在粒料上情形。

4. 級配不符合工作拌和公式之處理:

（1）檢討是否取樣不當，再重新取樣確認。

（2）檢查熱料斗倉間隔板是否破損。

（3）檢查料源是否改變。

5. 熱料遭重油污染（乾燥爐燃燒不完全）之處理:

（1）調整油氣比

（2）檢查是否噴油嘴霧化不完全

（3）檢查是否重油品質不佳

2.4.2 運輸車輛檢查

1. 檢驗運輸車輛清潔及潤滑

其目的為清除粘結於車身內壁之瀝青混合料，並使車身內壁潤滑，防止瀝青混合料粘附於車身。因此建議採用煤焦油作為清潔及潤滑材料，材料的塗刷量以可潤濕即可，不可有溢流現象，並於完成塗刷後，將車斗舉起，以排除過量之塗刷材料及殘留於卡車底盤凹陷處之塗刷材料。

若卡車為當天第一次裝載瀝青混合料，務須確實執行清潔及潤滑工作。若為連續鋪築作業中，該卡車已裝載過一次瀝青混合料，在裝載瀝青混合料時，則可視車身情況作必要之清潔及潤滑。

清潔劑不得使用溶劑（甲苯、汽油、柴油）材料，因殘留在車身內壁之溶劑，將與車身內壁接觸之瀝青混合料產生剝脫現象。潤滑材料除煤焦油外，亦可採用石臘油、1%之肥皂水或以肥皂水稀釋重油或其他認可油料。

2. 確認運輸車輛空車過磅

每次運輸車輛裝料前皆須辦理空車過磅，其目的為確認空車之重量，以避免因運輸車輛油箱及水箱裝載之重量造成計算瀝青混合料淨重時之偏差，而造成誤判之情事發生。

2.4.3 拌和過程檢查

1. 確認各項系統運作正常

各項系統之持續監控包括：冷料斗是否持續穩定供料、各熱料斗與瀝青膠泥之用量及熱料斗存量指示是否正常、槽秤之落差應予調整、熱料斗及瀝青膠泥之溫度與濕拌時間應符合規範要求，並要求拌和廠須足整盤數進行拌和，禁止半盤方式進行拌和。

2. 洩料時瀝青混合料目視檢查

生產中應隨時注意瀝青混合料之外觀情況，以目視法判別是否有不良現象，以即時做處理。而瀝青混合料不良現象可能形成原因及處理方法如表 1。

2.4.4 瀝青混合料出廠檢驗

1. 檢驗運輸車輛上瀝青混合料溫度

多孔性瀝青混凝土(PAC)混合料的生產若溫度過高，易造成瀝青膠泥垂流現象，而降低瀝青混凝土之耐久性，若瀝青混合料溫度過低，要先了解是瀝青膠　泥加熱溫度不足還是乾燥爐溫度不所造成，有可能發生瀝青膠泥包裹粒料不完全現象，如再運送至現場滾壓時溫度亦過低，則會造成不易壓實，路面鬆散且　孔隙率過高，日後形成路面粒料剝脫(跳料情形)。經由了解上述種種不利之影響，故可了解瀝青混合料溫度之重要性，因此須每車出廠前檢驗瀝青混合料之溫度且予以記錄，並回報瀝青混合料溫度予操作手，以提供其作為拌和控制之操考。如圖 5 所示。

因此規範另對於現場鋪築作業，亦有鋪築時之氣溫不得低於 10℃，多孔性瀝青混凝土(PAC)瀝青混合料若使用改質瀝青時卸入鋪裝機前溫度應大於 160℃，若使用一般瀝青時卸入鋪裝機前溫度應大於 130℃。

表 1 瀝青混合料不良可能形成原因及處理方法

項次	不良現象	可能形成原因	處理方法
1	有流動現象	瀝青含量過多	檢查瀝青膠泥配合用量設定是否正確 檢查瀝青槽秤是否有誤差
2	表面乾澀，無光澤	瀝青含量不足	檢查瀝青膠泥配合用量設定是否正確 檢查瀝青槽秤是否有誤差
		細粒料或填充料過多	檢查熱料與填充料配合用量設定是否正確 檢查熱料斗與填充料斗槽秤是否有誤差 檢查熱料與填充料料篩分析配合比例
3	表面碳化情形	拌和溫度太高	檢查乾燥爐溫度設定是否太高 檢查乾燥爐進料量是否太少 檢查乾燥爐與熱料斗溫度計是否損壞
4	不尋常的堆積且有僵硬狀	拌和溫度不足	檢查乾燥爐溫度設定是否太低 檢查乾燥爐進料量是否太多 檢查乾燥爐與熱料斗溫度計是否損壞
5		拌和效果不佳	檢查濕拌秒數是否不足 檢查拌和葉片是否須更換
6	冒白煙	殘餘含水量過高	檢查乾拌秒數是否不足 檢查乾燥爐溫度設定是否太低 檢查乾燥爐進料量是否太多
7	有瀝青未包裹粒料(白料)	拌和效果不佳	檢查卸料閘門是否無法完整閉合 檢查濕拌秒數是否不足 檢查拌和葉片是否須更換
8	級配明顯變異	熱料級配異常	檢查震動篩網是否破損 檢查熱料倉隔板是否破洞 檢查熱料倉是否滿溢
9	混和料不均勻	纖維集中	檢查纖維未完全破碎情形 檢查投入纖維後拌合時間不足

圖 5 檢驗運輸車輛上瀝青混合料溫度

2. 於每天隨機抽樣瀝青混合料辦理瀝青含量試驗、抽油篩分析試驗、垂留試驗、馬歇爾標準夯打試體測穩定值、流度值、肯塔堡飛散試驗及孔隙率等試驗並將試驗數據回饋於隔日出料的修正依據，並針對同一批材料測馬歇爾標準夯打試體試滯留強度試驗。
3. 確認運輸車輛加蓋帆布

運輸車輛上之瀝青混合料應即以帆布加蓋，以減少瀝青混合料溫度降低，多孔性瀝青混凝土(PAC)混和料如在運輸途中遇雨淋濕時，應即拋棄，不得再行使用。

4. 執行運輸車輛過磅並檢核地磅秤出之瀝青混合料淨重與累計各盤重量和是否在±2%以內，因地磅車輛過磅可知瀝青混合料之淨重，亦可由拌和盤數總量得之，將兩種方法所得之瀝青混合料重加以核對，可以檢核拌和機的計量設備與地磅之精度是否偏差，其精度誤差須在±2％範圍內，否則應立即尋找原因予以改善。
5. 填寫出料單

出廠單為每一運輸車輛裝載瀝青混合料之出廠證明，由駐廠監工檢驗核可後簽發，填寫項目包括鋪築地點、瀝青混合料種類、車次、車號、出廠數量、瀝青混合料之出廠量測溫度及出廠時間等。工地現場監工依出廠單簽收，如工地現場監工經檢查認為該瀝青混合料品質不合格，須拒絕使用，並將品質不合格原因回報告知駐廠監工，以要求拌和廠改進。

2.4.5 資料整理與統計分析

拌和廠品管人員應彙整試驗資料之統計分析與評估，應隨著工程進行作實質追蹤統計與分析並適時回饋拌和廠控制室作修正，以便清楚控制拌和廠產品品質的趨勢與水準。

就瀝青混凝土拌和廠而言，因粒料佔瀝青混凝土體積約 85％〔3〕，故粒料來源之穩定、均勻性影響瀝青混凝土甚鉅，所以冷料若控制的好、粒料來源不改變，瀝青混凝土之品質也就成功了一半，故拌和廠應針對冷料級配詳加控制，了解料源特性。例如拌和廠應於做冷料及熱料級配管制圖，作為製程管制依據。

就主辦機關及監造單位而言是作驗收管制，因此主要針對規範要求之驗收項目往往施工完成後才得知結果，對施工過程中工程的品質提升無濟於事，故拌和廠試驗室應對於瀝青混合料的品質作嚴格管控，將每日試驗結果數據回饋給控制室微調及施工單位修正之依據。拌

和廠試驗室至少應管控項目如下：

（1）粒料部分：熱料、瀝青混合料抽油後試驗得瀝青含油量及級配篩分析管控。

（2）瀝青混合料部分：馬歇爾標準試體穩定值、流度值、分散試驗、室內透水試驗孔隙率及垂流試驗等控管。

三、多孔性瀝青混凝土(PAC)於拌和廠及施工常發生缺失之可能原因

瀝青混凝土拌和廠於生產過程中，可能發生缺失，駐廠人員應督促拌和廠對於其可能造成的原因追蹤改善，使拌和廠能正常運作生產外在車輛運輸接續應充分考量，才能不致發生斷料情形，以確保工程品質。故整理拌和廠出料過程中最常產生不符要求之原因，茲以圖 6 簡述出料前配合級配與工作拌和公式不符之產生原因、圖 7 簡述瀝青混合料溫度異常之產生原因與圖 8 簡述多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面破壞之產生原因。

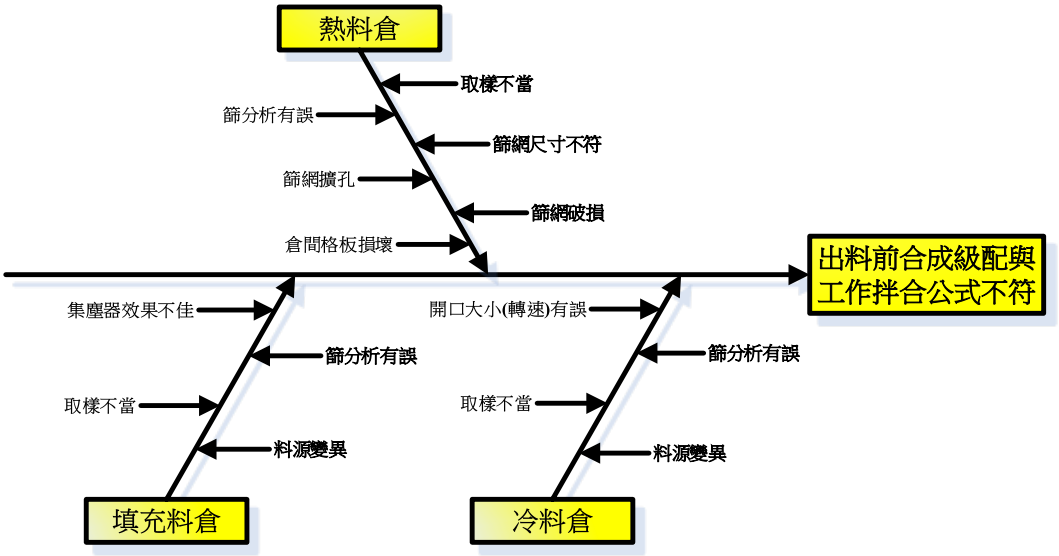

圖 6 出料前合成級配與工作拌和公式不符特性要因圖

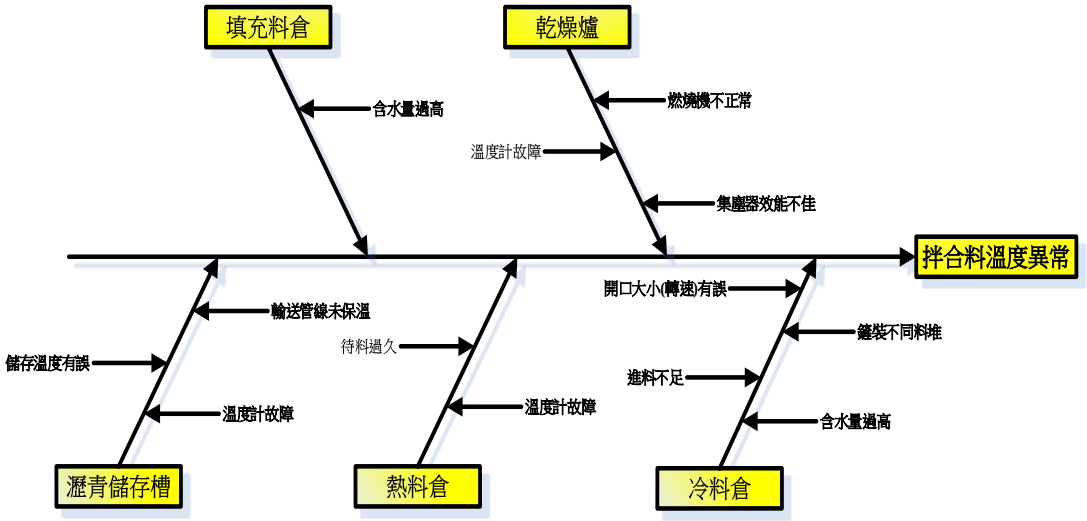

圖 7 瀝青混合料溫度異常特性要因圖

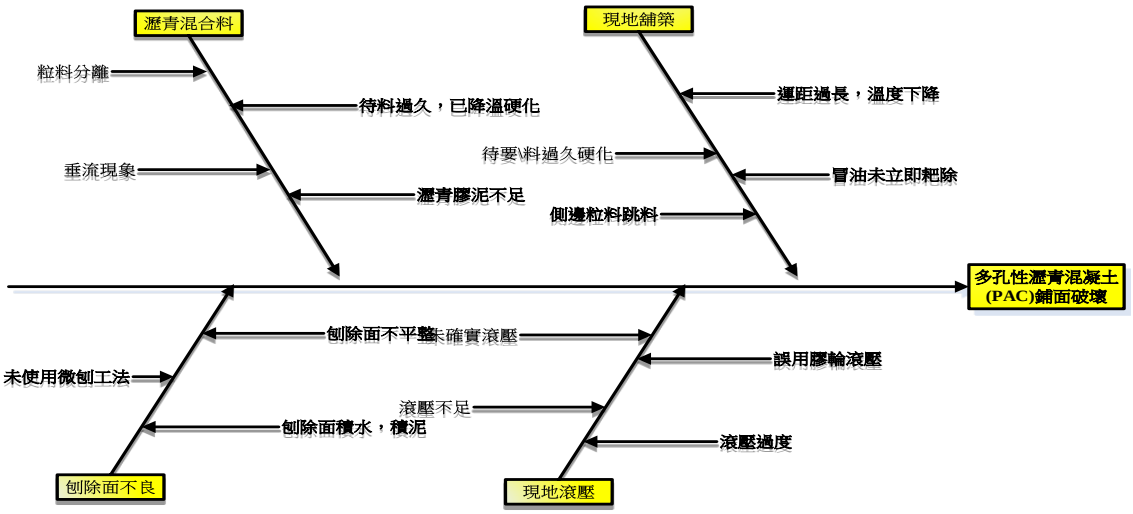

圖 8 多孔性瀝青混凝土(PAC)鋪面破壞特性要因圖

四、工程實例

4.1 工程簡介

以本市近年施作兩條多孔性瀝青混凝土(PAC)路面，一條為新北市政府新建工程處 105 年度施作林口區東林街，一條為新北市政府養護工程處 106 年度施作新店區祥和路，其林口區東林街平均路寬約 8m，全長均約 0.5 公里，施作面積約 4,000m2，係屬新闢道路設計採底層 150mm 鋪設密級配瀝青混凝土，面層 30mm 鋪設多孔性瀝青混凝土(PAC)，標稱最大粒徑採 3/4in(19.0mm)；其新店區祥和路單向單側平均路寬約 9m(雙側約 18m)，全長均約 3.0 公里，施作面積約 58,000m2，係屬既有道路採全面刨鋪施工方式鋪設 25mm 多孔性瀝青混凝土(PAC)，標稱最大粒徑採 1/2in(12.5mm)，其中面層刨除部分採微刨工法。在多孔性瀝青混凝土(PAC)配合設計均係結合和馬歇爾配合設計法、垂流試驗法、肯塔堡試驗法及輪跡試驗法等方法以決定最佳配合設計級配及最佳瀝青含量；其林口區東林街施工方式同目前國內高速公路施工方式，為底層為新鋪設密級配瀝青混凝土並一併調整好道路縱、橫斷面的洩水坡度，最後面層直接鋪設多孔性瀝青混凝土(PAC)，讓雨水能直接先入滲再依照道路縱、橫斷面的洩水坡度迅速排出至側溝，避免在鋪面上形成水膜的情形；另新店區祥和路施工方式與傳統道路施工方式一樣，在既有道路面層須先刨除再鋪設多孔性瀝青混凝土(PAC)，以下則以介紹新店區祥和路施工及拌合廠的管控為主。

本工程改變傳統道路面層鋪設密級配瀝青混凝土的施工方式，在市區道路(既有道路)上採用面層微刨工法刨除 25mm 再鋪設 25mm 多孔性瀝青混凝土(PAC)，其標稱最大粒徑採 1/2in(12.5mm)，主要改變傳統鋪築密級配瀝青混凝土鋪面，在下雨時雨水只能在鋪面上依照路拱縱、橫斷面的洩水坡度漫流排水情形，利用多孔性瀝青混凝土(PAC)的特性使雨水藉由大量的空隙先入滲再依照道路縱、橫斷面的洩水坡度迅速排出，避免在鋪面上形成水膜的情形，大大降低水霧飛濺情形及避免行車打滑現象；因此以本工程為例，在道路全面刨鋪前在施作

路基改善後全面刨鋪前，並先測量道路縱、橫斷面高程，作為往後刨除路面之參考依據，除依照道路縱斷面線形排水外並精確決定橫向排水讓往後路面刨除施工部分能依照需求施工，另在路面刨除部分有別一般路面刨除施工方式，採用道路微刨工法，主要目的是讓路面刨除 25mm 後的刨痕深度控制在 3mm 以內，也使的刨除面更平整，讓未來雨水入滲後不會積存在刨除面凹槽內，造成對瀝青混凝土黏結性損失，最終產生剝脫，大大降低鋪面的使用壽，故刨除完後再回鋪多孔性瀝青混凝土(PAC)25mm，讓完成後的路面能讓雨水藉由大量的空隙向下入滲再迅速從鋪面結構中迅速排出。

4.2 瀝青混凝土拌和廠品質控管

本次輔導瀝青混凝土拌和廠在施作本工程前，本機關首先要求拌和廠管控協力廠商(粒料材料商)提供穩定的粒料，再由拌和廠試驗室抽驗至少 3 次粒料進廠時的粒料級配篩分析狀況，用以了解進廠時的粒料的均勻性是否差異過大，如抽樣 3 次粒料進廠時的粒料級配篩分析差異過大，則再增加粒料進廠時抽樣次數至 5 次，輔導拌和廠試驗室品管試驗人員在冷斗料混和料合成級配先行試配料要符合施工規範容許範圍內，再送 TAF 認證之試驗單位作多孔性瀝青混凝土(PAC)混合料配合設計用以確定設計級配級最佳瀝青含量，待配合設計報告結果出爐後，再請瀝青混凝土拌和廠依配合設計報告比例轉換設定成各熱料斗及填充料之配合實際用量辦理正式出料並由拌和廠試驗室品管人員取樣作相關試驗結果驗證，除要能施工規範的要求外，更要符和配合設計報告，以確認多孔性瀝青混凝土(PAC)混合料品質。

後續正式出料利用拌和廠試驗室確實針對瀝青混合料每日生產管制控管，於每日瀝青混凝土混合料取樣辦理抽油後試驗、垂流試驗，主要取得瀝青含量、粒料級配數據，驗證各料斗設定之配比例，以及，除確認是否符合施工規範之容許範圍外，並檢核其合成級配與配合設計報內「工作拌和公式」之容許範圍內(如圖 8)，另取每日瀝青混凝土混合料製作馬歇爾標準試體求出馬歇爾試驗、室內透水試驗及肯塔堡試驗相關數據控制瀝青混凝土混合料品質。

因此本工程施作 4 天，採白天刨除路面，夜間鋪築施工，本路段多孔性瀝青混凝土(PAC)配合設計配比如表二，添加木纖 0.3%，另整理本工程瀝青混凝土拌和廠廠內 4 組試驗數據資料如表 2~5，進而管控瀝青混凝土拌和廠每日出料穩定度並作為隔日出料熱料修正比例及回饋相關數據於現場施工調整依據，因本工程在市區道路上除面層在全線鋪築施工完成後進行現地透水試驗以驗證實際空隙率是否符合原配合設計要求如表六。

表 2 多孔性瀝青混凝土(PAC)配合設計配比表

PAC 1/2in(12.5mm)

篩號	1in (25mm)	3/4in (19mm)	1/2in (12.5mm)	3/8in (9.5mm)	NO.4 (4.75mm)	NO.8 (2.36mm)	NO.16 (1.18mm)	NO.30 (0.6mm)	NO.50 (0.3mm)	NO.100 (0.15mm)	NO.200 (0.075mm)	瀝青含量 (%)
(通過試驗篩之重量百分率%)	100	100	90	79	29	12	10	9	7	6	5.0	5.0

備註：瀝青含量(%)係以瀝青混合料之總重量計算。

表 3 瀝青混凝土拌和廠熱斗料合成級配試驗資料表

試驗篩	1in (25mm)	3/4in (19mm)	1/2in (12.5mm)	3/8in (9.5mm)	NO.4 (4.75mm)	NO.8 (2.36mm)	NO.16 (1.18mm)	NO.30 (0.6mm)	NO.50 (0.3mm)	NO.100 (0.15mm)	NO.200 (0.075mm)	瀝青含量 (%)
施工規範 (通過試驗篩之重量百分率%)	100	100	100~90	—	11～35	10～20	—	—	—	—	3～7	
容許控制範圍(%)	**—**	**±6**	**±6**	**±6**	**±4**	**±4**	**±4**	**±3**	**±3**	**±3**	**±2**	**±0.3**
工作拌和公式 (通過試驗篩之重量百分率%)	**100**	**100**	**90**	**79**	**29**	**12**	**10**	**9**	**7**	**6**	**5.0**	**5.0**
施作日期												
106.06.06	100	**100**	**88**	**77**	**30**	**12**	**9**	**8**	**7**	**6**	**4.8**	5.0
106.06.08	100	**100**	**91**	**75**	**30**	**13**	**10**	**8**	**7**	**6**	**4.8**	5.0
106.06.09	100	**100**	**92**	**82**	**29**	**14**	**10**	**9**	**7**	**6**	**4.5**	5.0
106.06.11	100	**100**	**93**	**82**	**29**	**12**	**10**	**9**	**7**	**6**	**4.8**	5.0

表 4 瀝青混凝土拌和廠抽油後瀝青含量及粒料級配試驗資料表

試驗篩	1in (25mm)	3/4in (19mm)	1/2in (12.5mm)	3/8in (9.5mm)	NO.4 (4.75mm)	NO.8 (2.36mm)	NO.16 (1.18mm)	NO.30 (0.6mm)	NO.50 (0.3mm)	NO.100 (0.15mm)	NO.200 (0.075mm)	瀝青含量(%)
施工規範 (通過試驗篩之重量百分率%)	100	90～100	—	56～80	35～65	23～49	—	5～19	—	—	2～8	—
容許控制範圍(%)	**—**	**±7**	**±7**	**±7**	**±4**	**±4**	**±4**	**±3**	**±3**	**±3**	**±2**	**±0.5**
工作拌和公式(通過試驗篩之重量百分率%)	**100**	**96**	**73**	**66**	**50**	**39**	**29**	**21**	**14**	**9**	**5.0**	**4.8**
施作日期												
106.06.06	100	100	92	79	32	11	8	7	6	5	5.6	4.9
106.06.08	100	100	91	77	30	13	9	8	7	6	4.8	5.0
106.06.09	100	100	91	80	30	13	10	9	7	7	5.1	5.0
106.06.11	100	100	92	81	30	13	9	8	7	6	4.9	5.0

表 5 瀝青混凝土拌和廠室內相關試驗資料表

試驗項目	單位重 (g/cm^3)	穩定值 (kgf)	流度 (0.1mm)	孔隙率 (%)	室內透水試驗 (cm/sec)	飛散試驗 (%)	垂流試驗 (%)	滯留強度 (%)	備註
規範	**—**	**350 以上**	**20～40**	**15~25%**	**0.01 以上**	**20 以下**	**0.3 以下**	**85 以上**	
106.06.06	1.968	938	25.4	21	0.42	5.7	0.07	91	
106.06.08	1.969	918	27.9	21	0.43	5.2	0.14		
106.06.09	1.981	910	26.2	20	0.40	5.4	-		本日未施作垂流試驗
106.06.11	1.961	901	26.4	21	0.38	5.8	0.16		

表 6 多孔性瀝青混凝土現地透水試驗資料表

試驗項目	室內透水試驗 (ml/15sec)							備註
規範	**900 以上**							
樁號 (右側)	檢驗值	樁號 (右側)	檢驗值	樁號 (左側)	檢驗值	樁號 (左側)	檢驗值	本項試驗係委託 TAF 認證之實驗機構試驗
0k+20	1305	1k+500	1334	0k+100	1334	1k+600	1334	
0k+100	1364	1k+600	1305	0k+200	1305	1k+700	1364	
0k+200	1334	1k+700	1364	0k+300	1364	1k+800	1277	
0k+270	1334	1k+900	1334	0k+400	1305	1k+900	1250	
0k+400	1364	2k+000	1395	0k+500	1364	2k+000	1305	
0k+510	1334	2k+100	1364	0k+600	1364	2k+100	1364	
0k+620	1305	2k+200	1364	0k+700	1277	2k+200	1334	
0k+710	1334	2k+300	1334	0k+800	1224	2k+300	1334	
0k+800	1305	2k+400	1334	0k+900	1334	2k+400	1334	
0k+910	1334	2k+500	1364	1k+000	1250	2k+500	1364	
1k+020	1334	2k+600	1395	1k+100	1334	2k+600	1334	
1k+100	1305	2k+700	1334	1k+200	1334	2k+700	1364	
1k+200	1334	2k+800	1364	1k+300	1305	2k+800	1364	
1k+300	1364	2k+900	1364	1k+400	1334	2k+900	1334	
1k+400	1364			1k+500	1364			

4.3 瀝青混凝土拌和廠效益

就主辦機關及監造單位而言主要是在作驗收管制，往往等現場驗收需待試驗報告結果出爐後才得知瀝青混合料有問題，依照工程契約驗收規定辦理減價驗收或刨除重鋪，瀝青混凝土拌和廠對於每日出料並無法針對瀝青混合料品質管控確實作自主品管，主辦機關及監造單位亦無法得知每日瀝青混合料品質管控相關資料，需待試驗報告結果出爐後才得知瀝青混合料是否有問題，對於不合格瀝青混合料於已鋪築完成再刨除重鋪，除擾民外更是間接造成社會成本的損失，於是本工程就輔導瀝青混凝土拌和廠利用廠內試驗室確實作每日生產管制控管外並回饋給控制室作出料修正依據，於驗收管制就可避免瀝青混合料不合格而刨除重鋪等問題，亦可提升拌和廠每日生產效能。

五、結論與建議

1. 政府機關對於瀝青混凝土生產管制與施工技術的要求，及為了確保瀝青混凝土能符合規定，因此一直沿用工程會提供的施工規範作依據，雖施工規範對於拌和廠的運作程序、現場的施工機具皆有明確指定，但道路工程包商人員及監造人員對於瀝青混凝土混凝土廠從生產管制至現場施工技術並不重視，主要都是在作驗收管制(瀝青混合料油量及篩分析數據，及現場厚度及壓實度)，形成拌和廠品管試驗室也未能真正發揮瀝青混凝土拌和廠品質管制的功能，多流於應付主辦機關使用。為確保瀝青混凝土能符合要求，應從拌和廠的生產管制就開始，而非僅作驗收管制，可讓承包商自我要求品管提升。
2. 就瀝青混凝拌和廠而言，應屬三級品管第一級品質管制，目前多數瀝青混凝土拌和廠多流於形式，提供熱料篩分析資料確認符合規範就開始出料，對於冷料進場的管制及瀝青混合料的成品管制幾乎沒有作用，造成完工後待試驗報告結果出爐有問題才去刨除重鋪改善，似乎已失去品質管制的目的，另粒料佔瀝青混凝土體積約 85%，故粒料來源之穩

定性影響瀝青混凝土甚鉅，所以冷料若控制的好、粒料來源不改變，瀝青混凝土之品質也就成功了一半，故拌和廠應針對冷料級配詳加控制，了解料源特性及拌和廠內熱斗篩網的控制，再依照瀝青混凝土配合設計及讓拌合廠試驗者能考慮日後生產級配是否能相配合，以避免所做配比之工作拌和公式在拌和廠無法生產之窘境。

3. 國內在高速公路實際鋪築上亦有相當多的實務經驗，但對於市區道路上的實際鋪築案例仍不多，在市區道路上鋪築多孔性瀝青混凝土(PAC)多屬於試驗道路階段，且著重於多孔性瀝青混凝土(PAC)材料的管控及鋪設後的成效試驗；對於在市區道路上鋪築前的刨除施工方卻少有人去重視，因為一般傳統密級配瀝青混凝土(DGAC)施工刨除面較為粗糙(約 6mm)，而在選擇鋪築多孔性瀝青混凝土(PAC)施工刨除面須控制在 3mm 範圍內，所以須採用微刨工法控制刨除面的平整度及日後排水不會造成積水在刨除面凹槽內，造成對瀝青混凝土黏結性損失，最終產生剝脫，大大降低鋪面的使用壽命。

4. 多孔性瀝青混凝土(PAC)的鋪築厚度與粒料標稱最大粒徑選用是有彼此關連的，但國內的設計單位在設計鋪築厚度時卻多比照傳統密級配瀝青混凝土設計方式設計厚度，待施工後立即產生車轍後，卻矛頭指向瀝青混和料及施工有問題，最後只能請保固廠商刨除改善。

參考文獻

[1] 蕭志銘、陳建旭、賴俊仰、黃建中、蔡汶璇，「多孔性瀝青混凝土應用於高速公路的績效評估」鋪面工程第八卷第四期，2010。

[2] 林登峰、黃隆昇、王忠杉、葉庭瑋，「市區道路鋪築排水性鋪面長期成效之研究」鋪面工程第十卷第一期，2012。

[3] 蕭志銘、陳建旭、賴俊仰、黃建中、蔡汶璇，「標稱最大粒徑對多孔性瀝青混凝土工程性質的影響」鋪面工程第十二卷第二期，2014。

[4] 劉守益、陳世晃、王睿懋、林志棟，「多孔性瀝青混凝土成效之評估」中華道路第三十九卷第 3 期，2000。

[5] 林志棟，「瀝青混凝土配合設計與其原理」，科技圖書公司，1983。

[6] 陳偉全、劉文宗、陳世梵，鋪面工程「廠拌密級配瀝青混凝土粒料級配管控技術之研究」第十一卷第 4 期，2013。